

## **НЯКОИ ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗЧИСЛЯВАНЕ НА НАТОВАРВАНИЯТА СЪЗДАВАНИ ОТ КУЛОКРАН ВЪРХУ ОПОРНАТА КОНСТРУКЦИЯ ПОД НЕГО**

**Георги Иванов<sup>1</sup>, Калин Радлов<sup>2</sup>, Лъчезар Хрисчев<sup>3</sup>**

## **SOME FEATURES IN CALCULATING THE LOADING CREATED BY TOWER CRANE ON THE SUPPORT STRUCTURE BELOW IT**

**Georgi Ivanov<sup>1</sup>, Kalin Radlov<sup>2</sup>, Lachezar Hrischev<sup>3</sup>**

### **Abstract:**

*This paper examines important issues related to the calculation of the loading created by tower crane on the support structure. Most cases of tower cranes' failures related to severe accidents, material damages, and injury to humans are mainly caused by decreasing of the bearing capacity of the support structure under the tower crane. This requires paying particular attention to the process of sizing them and, in particular, to look for sufficiently precise and comprehensive approaches to determine the transferred loading from the tower crane to the support structure in order to increase the safety of this type of construction machinery. On the other hand, the introduction of the new harmonized standards for calculating tower cranes (having national standards status) coupled with the ever wider application of the European Design System – Eurocode in the design of support structures under tower cranes necessitates a more in-depth analysis of the process of calculating the loading from tower cranes to the support structure. The goal is to achieve the desired efficiency in combining the requirements of the two sets of standards. The present paper formulates basic conclusions and sets out important guidelines to help calculate the loading from the tower crane to support structure correctly with the required level of conservatism and a sufficient degree of safety.*

### **Keywords:**

*Tower Crane, Placing Tower Crane on Site, Support Structure, Loading, Safety.*

<sup>1</sup> Георги Иванов, докторант, катедра „Технология и механизация на строителството“, Строителен факултет, УАСГ, бул. „Христо Смирненски“ № 1, 1046 София, *e-mail*: givanov\_fce@uacg.bg;

Georgi Ivanov, PhD Student, Department of Construction Technology and Mechanization, Faculty of Structural Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., 1046 Sofia, Bulgaria; *e-mail*: givanov\_fce@uacg.bg.

<sup>2</sup> Калин Радлов, доц. д-р инж., катедра „Технология и механизация на строителството“, Строителен факултет, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, *e-mail*: kradlov@abv.bg;

Kalin Radlov, Assoc. Prof. Dr. Eng., Department of Construction Technology and Mechanization, Faculty of Structural Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., 1046 Sofia, Bulgaria; *e-mail*: kradlov@abv.bg.

<sup>3</sup> Лъчезар Хрисчев, доц. д-р инж., катедра „Технология и механизация на строителството“, Строителен факултет, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, *e-mail*: l.hrishev@abv.bg;

Lachezar Hrischev, Assoc. Prof. Dr. Eng., Department of Construction Technology and Mechanization, Faculty of Structural Engineering, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., 1046 Sofia, Bulgaria; *e-mail*: l.hrishev@abv.bg.

## 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Кулокраните представляват най-често използваните подедни машини за строителна механизация при изграждане на сгради и съоръжения и извършването на строителни и монтажни работи, и товаро-разтоварни операции. Все по-честите напоследък случаи на аварии с кулокранове, свързани с тежки инциденти, материални щети и нараняване на хора, причинени основно вследствие на нарушаване на носещата способност на опорните конструкции под кулокраните, наложиха необходимостта да се обърне по-специално внимание на всички специфични въпроси, свързани с монтажа на кулокраните, и по-специално на процеса и методите, които се използват за проверка и оразмеряване на опорните им конструкции.

Стандартът БДС EN 14439:2006+A2:2009 „Кранове. Безопасност. Кулокранове“ [1] представлява основният европейски стандарт, който задава изискванията към строителните кулокранове, за да могат те да отговарят на нужното ниво на безопасност. Необходимо е, всеки кулокран трябва да бъде доставян на строителния обект с налична съответна „Инструкция за монтаж и демонтаж“, като непосредствено преди пускане в експлоатация на кулокрана, трябва да бъдат извършени редица проверки. Въпреки това проектирането, якостната проверка и изграждането на опорната конструкция под кулокрана е задача на ползвателя на кулокрана, който е редно да извърши или да възложи извършването всички необходими проверки и изчисления в съответствие с правилата на Европейската система за конструктивно проектиране (Еврокод). При изчисленията следва да се отчитат и изискванията на действащите стандарти за изчисляване на натоварвания от кулокранове - БДС EN 14439:2006+A2:2009, БДС EN 13001-1:2015 и БДС EN 13001-2:2014.

Съгласно Европейската система за конструктивно проектиране (Еврокод) за опорната конструкция под кулокрана трябва да бъдат извършени следните проверки: загуба на статично равновесие на конструкцията или част от нея (EQU); разрушаване или недопустима деформация на конструкцията или на конструктивни елементи, когато са меродавни якостите на конструктивните материали (STR); разрушаване или недопустима деформация в земната основа (GEO); разрушаване на конструкцията или на конструктивни елементи от умора (FAT). Факт е, че опорните конструкции под кулокраните в повечето случаи биват разглеждани като „временни съоръжения на строителната площадка“, поради което за тях обикновено е прието да не се извършват изчислителни проверки за умора на материала и сеизмична устойчивост.

Определянето на изчислителните натоварвания към опорната конструкция на кулокран се явява специфичен въпрос поради следните две причини:

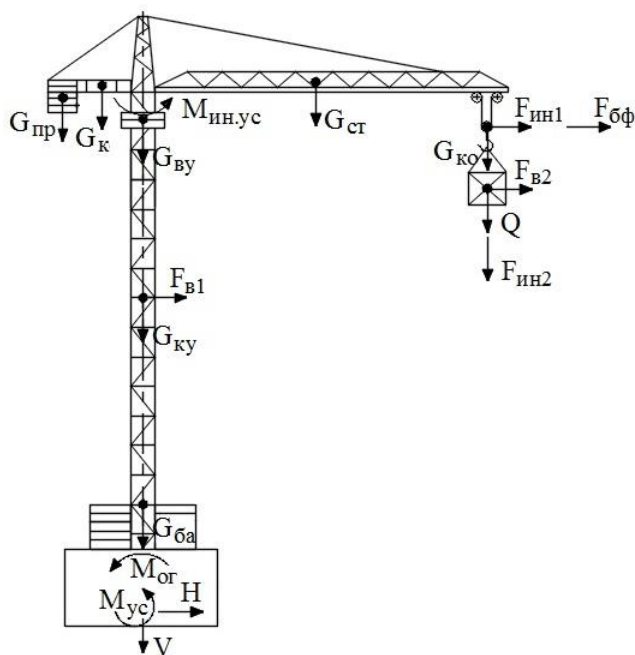
- кулокрана предава към опорната конструкция четири основни натоварвания: вертикална сила -  $V[kN]$ ; хоризонтална сила -  $H[kN]$ ; огъващ момент -  $M_{ог}[kN.m]$  и усукващ момент -  $M_{ус}[kN.m]$ . Но както е известно, посоките на две от тези натоварвания ( $H[kN]$  и  $M_{ог}[kN.m]$ ) не са постоянни, тъй като зависят от моментното разположение на въртящата стрела спрямо неподвижната опорна конструкция. Това се отнася както за комбинациите на натоварване при работно състояние на кулокрана, така и за комбинациите при неработно състояние. Поради тази причина вертикалната сила ( $V[kN]$ ) и усукващия момент ( $M_{ус}[kN.m]$ ) могат да се разглеждат като постоянни неподвижни натоварвания, но хоризонтална сила ( $H[kN]$ ) и огъващия момент ( $M_{ог}[kN.m]$ ) трябва да бъдат разглеждани като подвижни натоварвания за опорната конструкция на кулокрана. От друга страна силата на тежестта от окачения товар също променя своята стойност по време на експлоатацията на крана и следователно всички свързани с нея натоварвания също трябва да бъдат разглеждани като „променливи вертикални въздействия“;

- стандартът за изчисляване на натоварвания от кранове БДС EN 13001-2:2014 [2] предлага конкретни числени стойности за коефициенти на динамичност  $\phi$ , както и частни коефициенти на сигурност  $\gamma_p$ , при определяне на изчислителната стойност на всяко от натоварванията създавани от крана. Производителят на кулокрана обикновено задава определени стойности за натоварванията, създавани от кулокрана, като за тяхното изчисляване той може (или не) да е използвал въпросните „коефициенти на динамичност  $\phi$ “ и/или „частни коефициенти на сигурност  $\gamma_p$ “. Същевременно е ясно, че опорната конструкция под кулокрана впоследствие трябва да бъде проектирана и оразмерена съгласно строителните норми, а както е известно в тях (например в БДС EN 1990:2003) също се съдържат конкретни стойности за частните коефициенти на сигурност за въздействията  $\gamma_F$ . Това в определени случаи създава известен риск от повторно отчитане (дублиране) на едни и същи коефициенти и преоразмеряване на конструкцията.

За осигуряване на нужната безопасност на опорната конструкция под кулокрана е необходимо тя да бъде проектирана и оразмерена съгласно всички приложими изисквания на действащите Европейски нормативни документи и стандарти, с отчитане на действителните натоварвания, създавани от конструкцията на кулокрана. Един от основните съществуващи рискове при кулокрановете, указан в [1], е именно рискът от нарушаване на опорната конструкция и преобръщане на кулокрана. Настоящата разработка разглежда специфични въпроси, свързани с определяне на натоварванията, необходими за якостната проверка срещу разрушаване или недопустима деформация на опорната конструкция под стационарен кулокран.

## 2.СЪЗДАВАНИ СИЛИ В КОНСТРУКЦИЯТА НА КУЛОКРАНА

Силите, които действат в конструкцията на товароподемен кран са описани в Силите, които действат в конструкцията на товароподемен кран са описани в стандарт БДС EN 13001-2:2014 „Кранове. Общо проектиране. Част 2: Натоварвания“, като част от тези сили, действащи в конструкцията на стационарен кулокран са показани на фиг.1.



Фиг.1. Действащи сили върху конструкцията на стационарен кулокран

На фиг. 1 са използвани следните обозначения:  $G_{np}$  – тегло на противотежестта във върха на кулата;  $G_k$  – тегло на контрастрелата;  $G_{ey}$  – тегло на опорно-въртящото устройство;  $M_{ин.yc}$  – усукващ момент от инерционни сили при пускане/спиране на механизма за въртене;  $G_{cm}$  – тегло на стрелата;  $G_{ко}$  – тегло на кранова количка заедно с ролков блок;  $F_{ин1}$  – инерционни сили от движение на количка;  $F_{e2}$  – ветрова сила върху окачен товар;  $Q$  – тегло на окачен товар;  $F_{ин2}$  – инерционни сили от вдигане/спускане на окачения товар;  $F_{e1}$  – ветрова сила върху конструкцията на крана;  $G_{ку}$  – тегло на кулата;  $G_{oa}$  – тегло на баласта в основата на кулата;  $F_{об}$  – сили от удар в буфер. В [1] е указано, че въздействието на силите на удар в буфер върху опорната конструкция на крана (хоризонтални сили и огъващ момент) се допуска да бъдат пренебрегнати, но само ако скоростта на пътуване е по-малка от 40 m/min и има монтирани крайни изключватели за хоризонталното движение.

Опорните реакции в опорната конструкция на кулокрана (фундаментни натоварвания; натоварвания в ъглите на опорната конструкция или анкерни натоварвания) се създават от всички създавани от кулокрана сили, като в общия случай те могат да бъдат обобщени под формата на четири основни натоварвания, предавани към опорната конструкция: вертикална сила-  $V[kN]$ ; хоризонтална сила-  $H[kN]$ ; огъващ момент-  $M_{ог}[kN.m]$  и усукващ момент-  $M_{yc}[kN.m]$  (фиг.1).

### 3. КОМБИНАЦИИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАТОВАРВАНИЯ КЪМ ОПОРНАТА КОНСТРУКЦИЯ

Съгласно указанията на действащите стандарти, за определяне на цялостните резултатни ефекти на натоварване в кранови конструкции с клас на разпределение на масите MDC2 (каквито се явяват кулокрановите), и по конкретно в опорните конструкции на кулокрановите, би следвало да се използва методът на граничните състояния със съответните коефициенти на динамичност  $\phi_i$ , и частни коефициенти на сигурност  $\gamma_p$  [2, 3]. За случаите, при които съответната натоварваща комбинация  $F_j$  и конкретния разглеждан случай го изискват, то всички натоварвания от съответната натоварваща комбинация  $F_j$  трябва да бъдат умножени също и с подходяща стойност на коефициент на риска  $\gamma_n = 1,05^{n_r}$ , където  $n_r = 1 \div 14$  (в зависимост от конкретните изисквания).

Стандарт БДС EN 13001-2 изисква да бъдат разгледани следните натоварващи комбинации за товароподемните кранове:

\*Комбинации Тип А “Комбинации с регулярни натоварвания” – към тях спадат следните четири комбинации, приложими за стационарни кулокранове:

1) комбинация А1 - комбинация с натоварвания от вдигане и позициониране на товара. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана (коефициент на динамичност  $\phi_1$ ); натоварване от маса на окачения товар (коефициент на динамичност  $\phi_2$ ); комбинация от натоварвания от инерционни сили на механизми, която съответства на нормалната експлоатация на системата за управление на крана, но без отчитане на инерционната сила от включване/изключване на подемен механизъм (коефициент на динамичност  $\phi_3$ );

2) комбинация А2 - комбинация с натоварвания при случай на внезапно освобождаване на част от товара. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана (коефициент на динамичност  $\phi_1$ ); натоварване от маса на окачения товар (коефициент на динамичност  $\phi_2$ ); комбинация от

натоварвания от инерционни сили на механизми, която съответства на нормалната експлоатация на системата за управление на крана, но без отчитане на инерционната сила от включване/изключване на подемен механизъм (коефициент на динамичност  $\phi_5$ );

3) комбинация А3 - комбинация с натоварвания при случай на окачен товар или товарозахващащо устройство. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар; комбинация от натоварвания от инерционни сили на механизми, със отчитане и на инерционната сила от включване/изключване на подемен механизъм (коефициент на динамичност  $\phi_5$ );

4) комбинация А4 - комбинация с натоварвания при случай на придвижване по неравен релсов път“. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на кран, движещ се по неравна повърхнина (коефициент на динамичност  $\phi_4$ ); натоварване от маса на товар, движещ се по неравна повърхнина (коефициент на динамичност  $\phi_4$ ); комбинация от натоварвания от инерционни сили на механизми, но без отчитане на инерционната сила от включване/изключване на подемен механизъм (коефициент на динамичност  $\phi_5$ );

\*Комбинации Тип В “Комбинации с нерегулярни натоварвания” – тук спадат следните комбинации, приложими за стационарни кулокранове:

5) комбинация В1 - комбинация с натоварвания от вдигане и позициониране на товара + вятър в работно състояние. Тук влизат всички натоварвания от комбинация А1 плюс натоварвания от атмосферни въздействия в работно състояние (вятър в работно състояние, сняг и обледеняване, топлинно въздействие);

6) комбинация В2 - комбинация с натоварвания при случай на внезапно освобождаване на част от товара + вятър в работно състояние. Тук влизат всички натоварвания от комбинация А2 плюс натоварвания от атмосферни въздействия в работно състояние (вятър в работно състояние, сняг и обледеняване, топлинно въздействие);

7) комбинация В3 - комбинация с натоварвания при случай на окачен товар или товарозахващащо устройство + вятър в работно състояние. Тук влизат всички натоварвания от комбинация А3 плюс натоварвания от атмосферни въздействия в работно състояние (вятър в работно състояние, сняг и обледяване, топлинно въздействие);

8) комбинация В4 - комбинация с натоварвания при случай на придвижване по неравен релсов път + вятър в работно състояние. Тук влизат всички натоварвания от комбинация А4 плюс натоварвания от атмосферни въздействия в работно състояние (вятър в работно състояние, сняг и обледеняване, топлинно въздействие);

9) комбинация В5 - комбинация с натоварвания при случай на посукване на крана, придвижване по неравности и вятър в работно състояние“. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на кран, движещ се по неравна повърхнина (коефициент на динамичност  $\phi_4$ ); натоварване от маса на товар, движещ се по неравна повърхнина (коефициент на динамичност  $\phi_4$ ); натоварвания от атмосферни въздействия в работно състояние (вятър в работно състояние, сняг и обледеняване, топлинно въздействие); натоварване от посукване на крана – не се умножава с коефициент на динамичност (приложимо е само за подвижни кранове);

\*Комбинации Тип С “Комбинации със специални натоварвания” – тук спадат следните комбинации, приложими за стационарни кулокранове:

10) комбинация С1 - комбинация с натоварвания при кран в работно състояние и рязко подвигане на товар от терена с максимална скорост. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана (коефициент на динамичност  $\phi_1$ ); натоварване от маса на окачения товар (коефициент на динамичност  $\phi_2$  при внезапно повдигане на товар от терена с максимална скорост);

11) комбинация С2 - комбинация с натоварвания при кран в неработно състояние и екстремн вятър (и други атмосфер. въздействия) при неработно състояние. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар (коефициент  $\eta_w$  съгласно БДС EN 13001); натоварвания от сняг, обледеняване и топлинно въздействие; натоварвания от екстремн вятър при неработно състояние на крана;

12) комбинация С3 - комбинация с натоварвания при изпитване на крана. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана (коефициент на динамичност  $\phi_1$ ); комбинация от натоварвания от инерционни сили на механизми, но без отчитане на инерционната сила от включване/изключване на подемен механизъм (коефициент на динамичност  $\phi_5$ ); натоварване от вятър в работно състояние на крана; изпитателни натоварвания - коефициент на динамичност  $\phi_6$  по БДС EN 13001;

13) комбинация С4 - комбинация с натоварвания при кран с вдигнат товар и удар в буфер. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана (не се умножава с коефициент на динамичност); натоварване от маса на окачения товар (не се умножава с коефициент на динамичност); натоварване от удар в буфер - коефициент на динамичност  $\phi_7$ , съгласно БДС EN 13001;

14) комбинация С5 - комбинация с натоварвания при кран с вдигнат товар и натоварване от преобръщащи сили. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар; натоварване от преобръщащи сили. Съгласно т.4.2.4.5 на БДС EN 13001-2 тази комбинация е приложима само за случаите, когато е възможно един кран да се наклони (да започне да се препобръща) и след това да се върне в първоначалното си устойчиво положение, възникващият удар върху опорната конструкция на крана трябва да се вземе под внимание“;

15) комбинация С6 - комбинация с натоварвания при кран с вдигнат товар и натоварване от аварийно изключване. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар; натоварване от аварийно изключване - коефициент на динамичност  $\phi_5$ ;

16) комбинация С7 - комбинация с натоварвания при кран с вдигнат товар и натоварване от отказ на механизъм. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар; натоварване от отказ на механизъм - коефициент на динамичност  $\phi_5$ ;

17) комбинация С8 - комбинация с натоварвания при кран с вдигнат товар и натоварване от външно въздействие върху опорите на крана. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварване от маса на окачения товар; натоварване от външно въздействие върху опорите на крана;

18) комбинация С9 комбинация с натоварвания при монтаж, демонтаж и транспорт на кран. Тук трябва да бъдат комбинирани следните натоварвания: натоварване от маса на крана; натоварвания при монтаж, демонтаж и транспорт на крана.

В представената по-долу Таблица 1 са дадени стойности за частни коефициенти на сигурност „ $\gamma_p$ “ приложими за различните видове натоварвания и натоварващи комбинации при определяне на ефекти от натоварване (вътрешни усилия – сили и моменти) върху конструкции на стационарни кулокранове съгласно БДС EN 13001, но без отчитане на натоварвания от планирани и непланирани премествания (при наличие на подобни натоварвания, то те трябва да бъдат отчитани при всички възможни комбинации на натоварване съгласно БДС EN 13001).

Таблица 1. Частни коефициенти на сигурност „ $\gamma_p$ “ съгласно БДС EN 13001

No	Категория на натоварването	Наименование на натоварването		Регулярни комбинации	Нерегуляр. комбинации	Специални комбинации
				Комбинации Тип А	Комбинации Тип В	Комбинации Тип С
1	Регулярни натоварвания	Собствено тегло, ускорения, ударни натоварвания	Маса на компонентите на крана (определени на база на инженерни изчисления)	$\gamma_p = 1,22$ (за неблагоприятните маси) $\gamma_p = 0,9$ (за благоприятните маси)	$\gamma_p = 1,16$ (за неблагоприятните маси) $\gamma_p = 0,95$ (за благоприятните маси)	$\gamma_p = 1,1$ (за неблагоприятните маси) $\gamma_p = 1,0$ (за благоприятните маси)
2			Маса на окачен товар	$\gamma_p = 1,34$	$\gamma_p = 1,22$	$\gamma_p = 1,1$
3.			Маса на окачен товар, движещ се по неравна повърхнина	$\gamma_p = 1,22$	$\gamma_p = 1,16$	-----
4.		Инерционни сили от механизми	Маса на крана и повдигания товар	$\gamma_p = 1,34$	$\gamma_p = 1,22$	$\gamma_p = 1,1$
5.						
6.	Нерегулярни натоварвания	Натоварвания от външната среда (атмосферни въздействия)	Натоварване от вятър в раб. състояние	-----	$\gamma_p = 1,22$	$\gamma_p = 1,16$
7			Сняг и обледяване	-----	$\gamma_p = 1,22$	$\gamma_p = 1,1$
8			Натоварвания от топлинно въздействие	-----	$\gamma_p = 1,16$	$\gamma_p = 1,05$
9.		Натоварване от посукване на крана	-----	$\gamma_p = 1,16$	-----	
10.	Специални натоварвания	Рязко повдигане на товар от терена с максим. скорост		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
11.		Екстремно ветрово натоварване при неработно състояние на крана		-----	-----	$\gamma_p = 1,16$
12.		Изпитвателни натоварвания		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
13.		Натоварване от удар в буфер		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
14.		Натоварване от преобръщащи сили		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
15.		Натоварване от аварийно изключване		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
16.		Натоварване от отказ на механизми		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
17.		Натоварване от външно въздействие върху опорите		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$
18.		Натоварване при монтаж, демонтаж и транспорт		-----	-----	$\gamma_p = 1,1$

В резултат на големия брой необходими натоварващи комбинации за кранови конструкции (18 броя) - A1, A2, A3 и A4; B1, B2, B3, B4 и B5; C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 и C9, то за извършването на якостната проверка на опорната конструкция под крана трябва да бъдат подбрани само най-неблагоприятните комбинации на натоварване при работно и за неработно състояние на крана. Т.е. онези, при които се получават максимални стойности за натоварванията предавани към опорната конструкция, а именно: вертикална сила-  $V[kN]$ ; хоризонтална сила-  $H[kN]$ ; огъващ момент-  $M_{or}[kN.m]$  и усукващ момент-  $M_{yc}[kN.m]$  (фиг.1).

#### 4. ПРОВЕРКИ НА ОПОРНАТА КОНСТРУКЦИЯ НА КУЛОКРАНА СЪГЛАСНО ЕВРОКОД

##### 4.1. Комбиниране на въздействия при дълготрайни или краткотрайни изчислителни ситуации (основни комбинации)

Съгласно БДС EN 1990 [4], при изчисляването на конструкциите по гранични състояния проверките трябва да бъдат извършвани за всички възможни изчислителни ситуации и случаи на натоварване, като избраните изчислителни ситуации трябва да се анализират и да се определят меродавните случаи на натоварване. Трябва също така да се държи сметка за възможното отклонение от приетото направление или положението на въздействието.

Предвид горното е редно комбинацията от натоварвания, която да бъде зададена към опорната конструкция на кулокрана при извършване на проверка по дълготрайни или краткотрайни изчислителни ситуации (основни комбинации), да бъде следната (точка 6.4.3.2 от [4]):

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}, \quad (1)$$

(комбинация за работно състояние на крана)

където:  $G_{k,j}[kN]$  – сили включващи от собствено тегло на опорната конструкция + собствено тегло на баласта, който е поставен непосредствено върху опорната конструкция под крана + собствено тегло на кулата + собствено тегло на опорно-въртящото устройство;  $\gamma_{G,j}$  – частен коефициент за постоянното въздействие. При неблагоприятно въздействие  $\gamma_{G,SUP} = 1,35$  и при благоприятно въздействие  $\gamma_{G,INF} = 1,00$  (съгласно таблица A.1.2 (B) на EN 1990);

$Q_{k,1}$  – характеристична стойност на преобладаващото променливо въздействие. Такова променливо въздействие тук се явява натоварването от целия кран (без теглото на кулата, тегло на опорно-въртящото устройство и тегло на баласта в основата на кулата). За неговото определяне се изчисляват действащите натоварвания в опорната конструкция/основата на кулата (вертикална сила -  $V[kN]$ ; хоризонтална сила-  $H[kN]$ ; огъващ момент-  $M_{or}[kN.m]$  и усукващ момент-  $M_{yc}[kN.m]$ ) за всички възможни комбинации от тип А “Комбинации с регулярни натоварвания” (A1, A2, A3 и A4), както и комбинации от тип В “Комбинации с нерегулярни натоварвания” (B1, B2, B3, B4 и B5) съгласно стандарт БДС EN 13001-2:2014, след което се избират най-неблагоприятните (най-високите) измежду всички получени стойности за  $V[kN]$ ;  $H[kN]$ ;  $M_{or}[kN.m]$  и  $M_{yc}[kN.m]$ . Така получените четири стойности ( $V[kN]$ ;  $H[kN]$ ;  $M_{or}[kN.m]$  и



$M_{yc}[kN.m]$ ) на практика да представляват характеристикната стойност на преобладаващото променливо въздействие „ $Q_{k,1}$ “;

$\gamma_{Q,1}$  – частен коефициент за основното променливо въздействие. При неблагоприятно въздействие  $\gamma_{Q,1} = 1,5$  и при благоприятно въздействие  $\gamma_{Q,1} = 0$  (съгласно таблица А.1.2 (В) на БДС EN 1990);

$Q_{k,i}$  – характеристикни стойности на съпътстващите променливи въздействия върху опорната конструкция под кулокрана (вятър в нормално работно състояние, сняг, обледяване, температурни въздействия в нормално работно състояние и др). Определят се съгласно БДС EN 1990;

$\gamma_{Q,i}$  – частни коефициенти за съпътстващите променливи въздействия. При неблагоприятно въздействие  $\gamma_{Q,i} = 1,5$  и при благоприятно въздействие  $\gamma_{Q,i} = 0$  (съгласно таблица А.1.2 на БДС EN 1990);

$\psi_{0,i}$  – коефициент за получаване на стойностите за комбиниране на съпътстващите променливи въздействия.

#### 4.2. Комбиниране на въздействия при извънредни изчислителни ситуации

Комбинацията от натоварвания, която трябва да бъде зададена към опорната конструкция на кулокрана при извършване на проверка по извънредни изчислителни ситуации (без земетресения) трябва да бъде следната (точка 6.4.3.3 от [4]):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}, \quad (1)$$

(комбинация за неработно състояние на крана)

където  $G_{k,j}[kN]$  – сили от собствено тегло на опорната конструкция под крана, тегло на баласта, собствено тегло на кулата, собствено тегло на опорно-въртящото устройство;

$A_d$  – изчислителната стойност на особеното въздействие върху опорната конструкция под крана (екстремален вятър, екстремален сняг или друго), което трябва да бъде изчислено само за опорната строителна конструкция (т.е. без крана);

$Q_{k,1}$  – характеристикна стойност на преобладаващото променливо въздействие. Такова променливо въздействие тук се явява натоварването от целия кран в неработно състояние (без теглото на кулата, тегло на опорно-въртящото устройство и тегло на баласта в основата на кулата). За неговото определяне се изчисляват действащите натоварвания в опорната конструкция/основата на кулата (вертикална сила-  $V[kN]$ ; хоризонтална сила-  $H[kN]$ ; огъващ момент-  $M_{ог}[kN.m]$  и усукващ момент-  $M_{yc}[kN.m]$ ) за всички възможни комбинации от тип С съгласно БДС EN 13001-2:2014, след което се избират най-неблагоприятните (най-високите) измежду всички получени стойности. Така получените четири стойности ( $V[kN]$ ;  $H[kN]$ ;  $M_{ог}[kN.m]$  и  $M_{yc}[kN.m]$ ) на практика да представляват характеристикната стойност на преобладаващото променливо въздействие „ $Q_{k,1}$ “ за тази изчислителна проверка;

$\psi_{1,1}$  – коефициент за получаване на често повтаряща се стойност на променливо въздействие. Може да бъде определена съгласно БДС EN 1990, като се допуска да бъде използвана също стойността  $\psi_1 = 0,9$  за натоварвания от кранове, зададена в Таблица А.2 - на БДС EN 1991-3;

$Q_{k,i}$  – характеристични стойности на съпътстващите променливи въздействия върху опорната конструкция под кулокрана – вятър, сняг и др (с изключение на въздействието, чиято стойност е била включена в основното натоварване „ $A_d$ “;

$\psi_{2,i}$  – коефициенти за получаване на квазипостоянните стойности за комбиниране на съпътстващите променливи въздействия. Определят се съгласно Еврокод EN 1990.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статията акцента е поставен върху изискванията на актуалните стандарти за изчисляване на натоварвания от кранове, в съчетание с изискванията на Европейската система за конструктивно проектиране.

В резултат на анализ и обобщение на изложеното в настоящата разработка, могат да се формулират следните основни изводи:

1. Производителят на кулокрана обикновено задава определени стойности за натоварванията, създавани от кулокрана. Но ако за изчисляването на техните стойности не са използвани „коефициенти на динамичност  $\phi$ “ и/или „частни коефициенти на сигурност  $\gamma_p$ “, то същите би следвало да бъдат отчетени при последващата проверка и оразмеряване на опорната конструкция под кулокрана.
2. Тъй като посоките на две от основните натоварвания създавани от крана върху опорната конструкция ( $H[kN]$  и  $M_{ог}[kN.m]$ ) не са постоянни, тъй като зависят от моментното разположение на въртящата стрела спрямо неподвижната опорна конструкция, то те се явяват подвижни натоварвания за опорната конструкция на кулокрана. От друга страна, силата на тежестта от окачения товар също променя своята стойност по време на експлоатацията на крана и следователно, всички свързани с нея натоварвания, също трябва да бъдат разглеждани като „променливи вертикални въздействия“. Поради тази причина е редно, всички натоварвания създавани от кулокрана (с изключение само на теглото на кулата, теглото на опорно-въртящото устройство и теглото на баласта в основата на кулата) да бъдат разглеждани като „променливи въздействия“ съгласно БДС EN 1990 и да бъдат умножавани със съответните частни коефициенти на сигурност, при извършване на изчислителната проверка на опорната конструкция под кулокрана.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 14439:2006+A2:2009 Кранове. Безопасност. Кулокранове.
- [2] БДС EN 13001-2: 20014 Безопасност на кранове. Общо проектиране. Част 2: Натоварвания
- [3] БДС EN 13001-1 Кранове. Общо проектиране. Част 1: Общи принципи и изисквания
- [4] БДС EN 1990 Еврокод: Основи на проектирането на строителни конструкции.